



STARKNIEDERSCHLÄGE

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER GEKOPPELTEN SIMULATION

Ein massgeblicher Teil der meteorologisch verursachten Wasserschadenfälle (30–50%) entstehen nicht infolge Überschwemmungen von Oberflächengewässern, sondern aufgrund von Kanalisationsüberlastungen und Oberflächenabfluss bei Starkniederschlägen. Mit spezialisierter Hydrauliksoftware können die genannten drei Prozesse gemeinsam modelliert werden. Gebietsübergreifendes Fachwissen und ein fundiertes Systemverständnis erlauben eine ganzheitliche Beurteilung der Gefährdungen.

Benjamin Lüthi; Markus Gresch; Thomas Hug, Hunziker Betatech AG
Rolf Gall, Wasser Agenda 21*

RÉSUMÉ

FORTES PRÉCIPITATIONS – POSSIBILITÉS ET LIMITES DE LA SIMULATION COUPLÉE

Afin de répondre à l'objectif d'une solide planification des mesures à prendre contre l'eau considérée comme risque naturel, il convient de combiner différentes spécialités et différents systèmes tels qu'évacuation des eaux urbaines, cours d'eau ou ruissellement.

Les processus se superposent de manière parfois complexe et exigent une définition ciblée de la problématique: quels sont les processus et événements à prendre en compte? Quelles combinaisons couvrent des domaines d'incertitude et promettent une valeur ajoutée en matière d'évaluation des risques?

Le scénario qui se dessine à l'issue de ces réflexions est un élément important du travail. L'évaluation du risque résiduel prend de l'importance, notamment dans le contexte des futurs changements climatiques et de l'augmentation des événements extrêmes. Grâce à la simulation couplée, l'estimation des cas de surcharge ou de défaillance systémique qui s'y rattachent est possible de manière plus complète que ce n'était jusqu'à présent le cas. Les ingénieurs sont soumis à des exigences interdisciplinaires élevées. Une collaboration renforcée d'ingénieurs en PGEE, d'hydrauliciens, d'hydrologues et de modélisateurs offre une valeur ajoutée importante lors de l'évaluation des risques et de la planification des mesures.

STURZFLUTEN

Überschwemmungen, die sich durch ein besonders unerwartetes Auftreten und grosse Intensität auszeichnen, werden als Sturzfluten bezeichnet. Auslöser solcher Ereignisse sind aussergewöhnliche Starkregen, die einen ausgeprägten Oberflächenabfluss nach sich ziehen und durch schnell ansteigende Wasserstände und Abflusswellen innert kürzester Zeit grosse Schäden anrichten können [1]. Diese Ereignisse treten überwiegend lokal auf.

ENTWICKLUNG IN DER SCHWEIZ

Nicht nur steigen die Temperaturen, auch treten gemäss diverser Studien künftig Starkregen und Sturzfluten häufiger, beziehungsweise mit grösseren Intensitäten auf. So sollen sommerliche Starkniederschläge im schweizerischen Alpenraum bis Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 40% zunehmen [2, 3]. Auch flachere Gebiete des Mittellandes sind von den Extremen betroffen. In Zürich beispielsweise wird der Wert für einen 10-jährlichen Tagesniederschlag im Jahr 2100 schätzungsweise bei ca. 80 Litern pro Quadratmeter (aktuell ca. 65 l/m²) liegen [2]. Unter diesem Aspekt und hinsichtlich des stetigen Ausbaus von potenziell gefährdeter Infrastruktur und des damit erhöhten

* Kontakt: benjamin.luethi@hunziker-betatech.ch

Schadenpotenzials gewinnt ein bewusster Umgang mit Sturzfluten und Starkniederschlägen an Bedeutung.

STARKREGEN ALS NATURGEFAHR

Starkregen kann, je nach Charakteristik, Topografie und betroffener Infrastruktur, zu unterschiedlichen Arten von Gefährdungen führen:

Oberflächenabfluss

Wenn der Boden bereits gesättigt oder versiegelt ist, beziehungsweise die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität übersteigt, bildet sich Oberflächenabfluss. Je grösser der Versiegelungsgrad (z.B. in Städten), desto eher wird der grösste Teil des Niederschlags sofort abflusswirksam (Fig. 1).

Dieser Oberflächenabfluss kann sich bereits vor dem Erreichen eines Gewässers oder der Kanalisation in Senken und Engstellen sammeln. Durch die Abflusskonzentration entwickeln sich Wasserströme und Flutkorridore, die zu Erosion führen und auch grössere Gegenstände wie Autos mit sich reissen können.

Kanalisationsüberlastung

Wo Infrastruktur zur effizienten Entwässerung vorhanden ist (Gebiet mit Liegenschafts-, Dach-, Platz- und Strassenentwässerungen), gelangt Niederschlag über Einlaufschächte in das Kanalisationssystem und wird kontrolliert abgeführt. Ähnlich wie die Infiltrationskapazität für Böden ist die Kapazität der Einlaufschächte und der Leitungen entscheidend dafür, wie viel Wasser abfliessen kann.

Wird das Kanalisationssystem überlastet, entstehen Rückstau-effekte und Wasseraustritte z.B. aus einem Schachtbauwerk oder bei Hausanschlüssen (Fig. 2).

Überschwemmungen durch Fliessgewässer

Niederschlagswasser gelangt durch die Geländetopografie früher oder später in Bäche und Flüsse. Werden die anfallenden Wassermengen zu gross, können die Fliessgewässer über die Ufer treten (Fig. 3).

Einzelne solche Ereignisse betreffen häufig einen im Vergleich grossen Perimeter, verursachen hohe Schadensummen und sind entsprechend medienwirksam.

Prozessüberlagerungen

Je nach den lokalen Gegebenheiten ist es wahrscheinlich, dass sich die drei beschriebenen Prozesse überlagern und in der Kombination grössere Schäden verursachen. Beispielsweise ist es möglich, dass sich durch ein Flusshochwasser ein Rückstau in der Kanalisation bildet, worauf diese überlastet wird und oberflächlicher Abfluss entsteht. In diesem Fall hätte eine isolierte Betrachtung von Fluss und Kanalsystem keine Gefährdung angezeigt, obwohl in Realität eine solche vorhanden ist. Umgekehrt zeigt eine Oberflächenabflusskarte gegebenenfalls Überflutungsflächen, wo wegen des darunter liegenden Entwässerungssystems in Wirklichkeiten keine oder stark reduzierte Fliesstiefen auftreten (Fig. 4).

NIEDERSCHLAG ALS DIMENSIONIERUNGSGRUNDLAGE

In der Praxis werden die möglichen Gefährdungen häufig von verschiedenen Spezialisten bearbeitet. Wasserbaufachleute erstellen Gefahrenkarten und flussbauliche Massnahmen zum

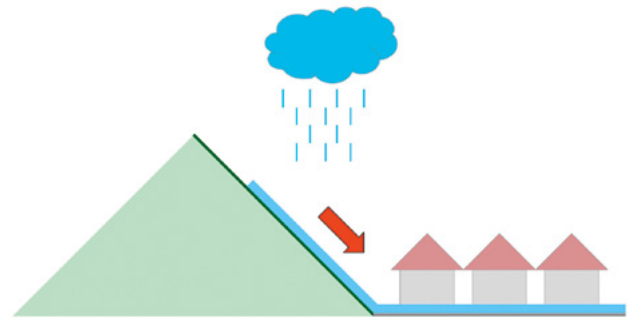


Fig. 1 Oberflächenabfluss, schematische Darstellung.

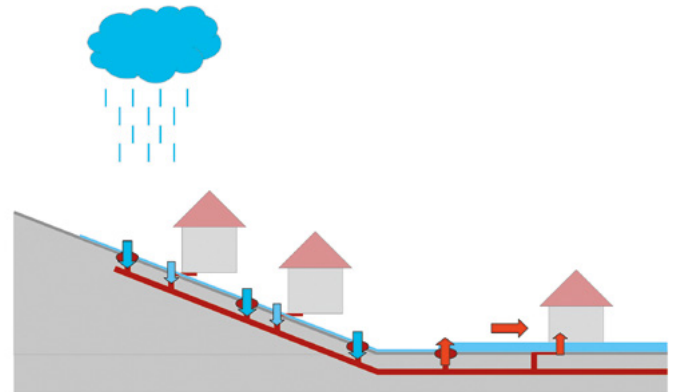


Fig. 2 Überlastung der Kanalisation, schematische Darstellung.

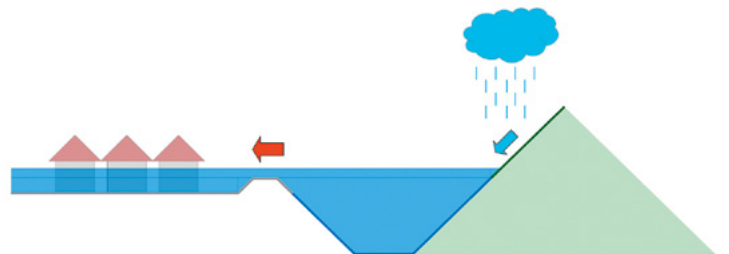


Fig. 3 Überschwemmung durch Fliessgewässer, schematische Darstellung.



Fig. 4 Überschwemmungen bei Prozessüberlagerung, schematische Darstellung.

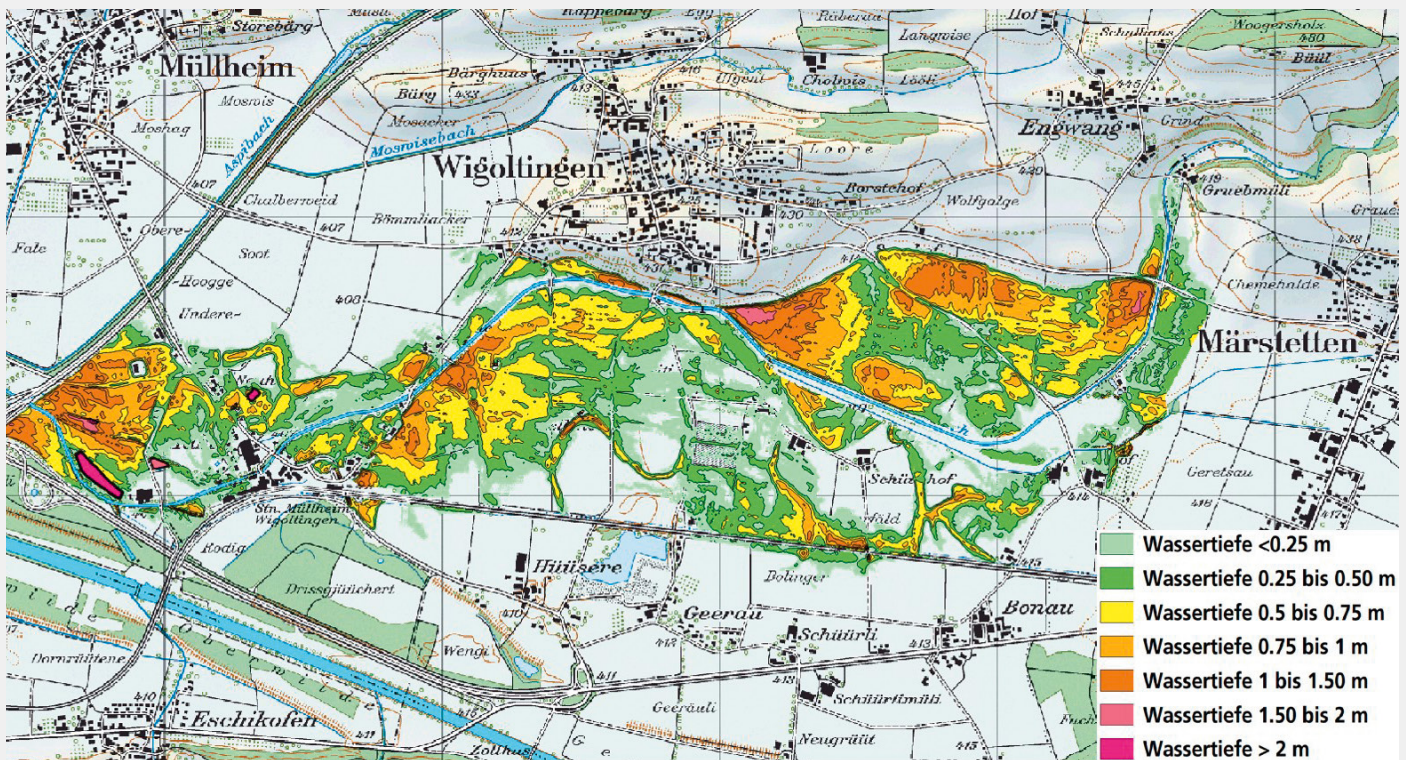


Fig. 5 Beispiel Fliesstiefenkarte

(Grafik: Hunziker Betatech AG)

Hochwasserschutz bei Fließgewässern, GEP-Ingenieure dimensionieren Entwässerungssysteme von Strassen und Siedlungsgebieten. Eine gesamtschweizerische Übersicht über mögliche Gefährdungen durch Oberflächenabfluss existiert als Hinweis-karte seit Mitte 2018 [4].

Die Entwicklung einer praxistauglichen Lösung zum Umgang mit Starkniederschlägen bedingt ein Verständnis der massgeblichen Annahmen und Grundlagen aus allen Fachdisziplinen.

ÖBERFLÄCHENABFLUSS

Szenarien und Jährlichkeiten

In der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss wird ein einstündiges Niederschlagsereignis mit einer Wiederkehrperiode von rund 100 Jahren verwendet. Dies entspricht in den meisten Fällen im Schweizer Mittelland einer stündlichen Regensumme von 45–65 mm (mit einer maximalen Intensität während 5–10 Minuten von ca. 100 mm/h) [4].

Auslegung des Systems

Zur Berechnung wurde das digitale Terrainmodell (DTM) *swissALTI3D* und in einigen Kantonen spezifische, höher aufgelöste Terrainmodelle verwendet. Unterschiedlichen Bodenbedeckungstypen (unterschiedliches Infiltrations- und Abflussverhalten) wurde mit angepassten Abflusskoeffizienten für einzelne Gebiete Rechnung getragen.

In der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ist das Kanalnetz nicht berücksichtigt.

SIEDLUNGENSWÄSSERUNG – GEP

Szenarien und Jährlichkeiten

Entscheidend für die Auslegung des Kanalsystems sind Niederschläge kurzer Dauer mit hohen Intensitäten. Die dabei entste-

henden Spitzenabflüsse bilden die Dimensionierungsgrundlage und Kapazitätsanforderungen an das Leitungssystem. Es werden Niederschlagsereignisse mit einer Jährlichkeit von 5–10 Jahren verwendet.

Auslegung des Systems

Aus dem Bemessungsniederschlag und der Oberflächencharakterisierung der Teileinzugsgebiete wird der abflusswirksame Niederschlag bestimmt. Diese Werte dienen als Input im ersten Knoten für die hydraulischen Berechnungen des Kanalnetzes. Das Gesamtsystem muss in der Lage sein, diese Abflüsse ohne Systemversagen und somit schadlos abzuführen. Standardmässig sind Interaktionen mit der Oberfläche nur rudimentär berücksichtigt, z. B. über Abschätzungen der maximalen Kapazitäten von Einlaufschächten. Mögliche Fliesswege an der Oberfläche werden nicht abgebildet.

ÖBERFLUTUNGEN DURCH GEWÄSSER

Szenarien und Jährlichkeiten

Bei Gewässern werden üblicherweise Ereignisse mit Eintretenswahrscheinlichkeiten von 30, 100 und 300 Jahren betrachtet. Diese Jährlichkeiten beziehen sich nicht auf das Niederschlagsereignis, sondern auf die Spitzenabflüsse (bzw. Pegel bei Seen). Bei grösseren Einzugsgebieten sind langanhaltende, ununterbrochene Regen mit schwacher bis mittlerer Intensität verantwortlich für Hochwasser. Bei kleinen, sehr schnell reagierenden Einzugsgebieten sind kurze, intensive Niederschläge massgeblich.

Auslegung des Systems

Für die hydraulische Auslegung des Hochwasserschutzkonzeptes von Gewässern werden Ereignisse verschiedener Jährlichkeiten, abhängig von der Schutzzielmatrix (kantonal bestimmt), berücksichtigt.

Basierend auf diesen Schutzzielen wird der entsprechende Spitzenwert oder die Abflussganglinie in das Berechnungsmodell eingesetzt. Das Gewässer wird dabei aus dem Höhenmodell, Querprofilen sowie Strukturen wie Brücken und Durchlässen abgebildet. An Schwachstellen tritt Wasser aus und es entstehen Überschwemmungen. Die Resultate dieser Modellierungen werden als Fliesstiefen-, Intensitäts- oder Gefahrenkarten dargestellt und klassifiziert (Fig. 5).

SIMULATION VON PROZESSÜBERLAGERUNGEN

Die benötigten Grundlagen für gekoppelte Simulationen sind dieselben wie für die Dimensionierung der einzelnen Entwässerungssysteme und Prozesse. Allerdings ist bei einer gekoppelten Betrachtung entscheidend, welche Ereignisse oder Szenarien miteinander verglichen werden. Je nach System, Infrastruktur und untersuchter Jährlichkeit können Szenariokombinationen auch zu unwahrscheinlichen Prozessüberlagerungen führen.

FALLBEISPIELE

ÜBERBAUUNG MIT KLEINEM GEWÄSSER

Im ersten Fallbeispiel wird ein kleineres Siedlungsgebiet im Kanton Zürich mit eingedolten Bächen und kurzen, offenen Abschnitten betrachtet. In der Fliesstiefenkarte aus der Naturgefahrenkarte (Fig. 6, links) sind die eingedolten Bäche *blau gestrichelt* dargestellt [5]. Oberhalb der Siedlung ist keine Gefährdung verzeichnet, weil dieser Bereich einerseits ausserhalb des Perimeters liegt und andererseits in der Simulation die Abflüsse als Punktquelle auf den offenen Abschnitt (*rot umkreist*) angewendet werden. Dass diese Wassermengen gegebenenfalls

nicht im eingedolten Kanal auftreten, weil sie diesen gar nicht erreichen, wird in der Methodik der hier vorliegenden Naturgefahrenkarte nicht berücksichtigt.

Auf der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss (Fig. 6, Mitte) zeigt sich ein treffenderes Bild, inkl. Fließwegen und Überschwemmungen oberhalb des untersuchten Siedlungsgebietes. Aus dieser Karte nicht abschätzbar sind Effekte der Siedlungsentwässerung sowie der Einfluss und die Belastung der eingedolten Bachabschnitte.

Auf dem rechten Bild in Fig. 6 ist die gekoppelte Betrachtung für Oberflächenabfluss, Kanalsystem und Bach für ein 100-jährliches, einstündiges Niederschlagsereignis gezeigt. Durch den Einbezug des Kanalnetzes und des Baches in die Simulation lassen sich zusätzliche Aussagen über die anfallenden Wassermengen in der Bachleitung und Kapazitätsengpässe machen. Die Platzentwässerungen des gezeigten Areal sind mit einberechnet. Eine Reduktion der Fliesstiefen findet dadurch zwar statt, für Niederschlagsereignisse mit der gezeigten Jährlichkeit ist das System allerdings nicht ausgelegt.

Im vorliegenden Beispiel hat die alleinige Betrachtung des Baches als Hochwassergefahr die in Realität auftretenden Probleme nur in Teilen aufzeigen können. Mithilfe der Oberflächenabflusskarte einerseits und der gekoppelten Simulation (mit Kanalnetz) andererseits konnten auch Abschätzungen über die Kapazitätsengpässe der Leitungen gemacht sowie die Massnahmenplanung geprüft und abgestimmt werden.

OBERFLÄCHLICHER ZUFLUSS ZU INDUSTRIEAREAL

In Fig. 7 spielt Oberflächenabfluss sowie die Kapazität der Platzentwässerungen eine entscheidende Rolle. Das untersuchte

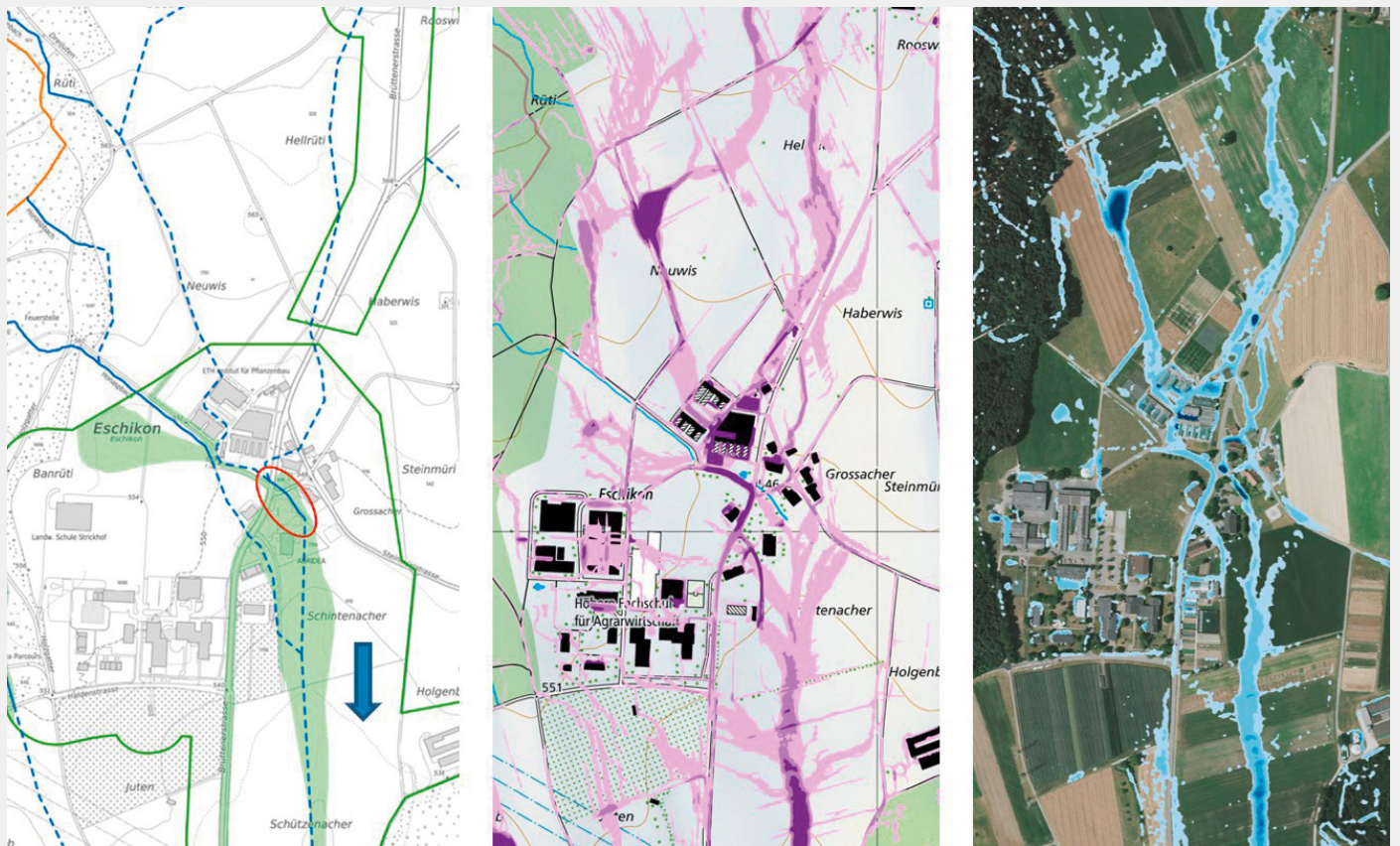


Fig. 6 Links: Fliesstiefenkarte aus der rechtsverbindlichen Naturgefahrenkarte (HQ100) mit offenem Bachabschnitt und Einlaufbauwerk (rot umkreist). Mitte: Gefährdungskarte Oberflächenabfluss des Bundes. Rechts: Fliesstiefenkarte der gekoppelten Berechnung.

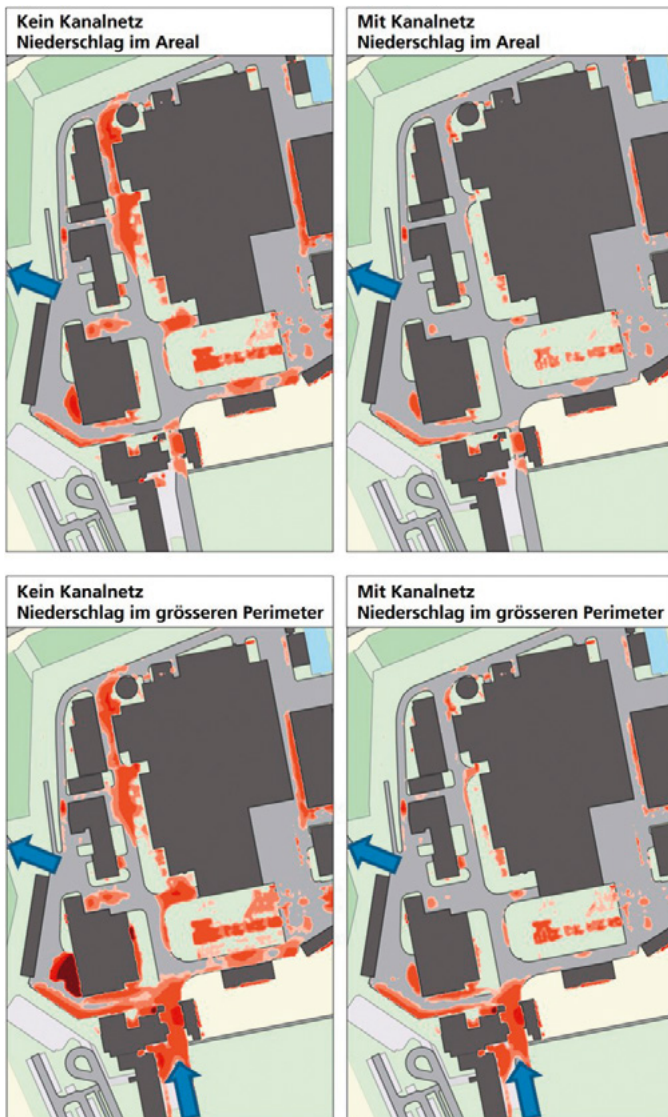


Fig. 7 Ausschnitte aus der Starkregenanalyse für ein Industrieareal. Die Fliesstiefen sind in einem Bereich von 3 cm (hellrot) bis >0,5 m (dunkelrot) dargestellt. Die Berücksichtigung des Kanalnetzes und der Einlaufschächte (Bilder rechts) sowie allfälliger Zuflüsse von ausserhalb (Bilder unten) haben beim ausgewählten Ereignis (10-jährliches Niederschlagsereignis) einen grossen Einfluss auf die Fliesstiefen im Areal.

Areal befindet sich in einer Geländesenke mit einem «Gebietsauslass» auf der Westseite. Es ist kein Gewässer vorhanden, das einen Einfluss auf die Überflutungssituation haben könnte.

Figur 7 vergleicht die Resultate unterschiedlicher Simulationsansätze. In den oberen Bildern fällt der Niederschlag nur über dem Arealperimeter. Oben links ist zu erkennen, dass mehrere grössere Flächen mit Fliesstiefen von 0,1–0,25 m entstehen. Dies kann, je nach Lage und Dichtigkeit von Gebäudeöffnungen und Treppenabgängen/Tiefgaragen, bereits zu erheblichen Schäden und Gefährdungen führen.

Werden in der Simulation die Einlaufschächte und die Kanalisation mitberücksichtigt (oben rechts), ergibt sich ein anderes Bild: Es entstehen zwar noch Stellen mit vergrösserten Fliesstiefen im Bereich von 10 cm, allerdings nur bei kleinräumigen, lokalen Tiefstellen.

In Wirklichkeit fliessen aus der Umgebung grössere Wassermengen von Süden ins betrachtete Areal (Bilder unten). Auch hier ist der Einfluss der Kanalisation relevant. Das Bild unten rechts kommt der effektiven Gefährdung wahrscheinlich am nächsten. In diesem Fallbeispiel würde eine Vernachlässigung von Siedlungsentwässerung und umliegendem Gebiet zu einem nicht vollständigen bzw. zum Teil sogar falschen Gefährdungsbild führen.

DISKUSSION

Die Möglichkeiten zur Kombination verschiedener Prozesse und Ereignisse sind zahlreich und bilden Raum für Unsicherheiten und Ermessensspielraum. Daneben gibt es auch quantifizierbare Unsicherheiten in den Simulationsgrundlagen. Eine erfolgreiche Risikoanalyse mit anschliessender Massnahmenprojektierung berücksichtigt beide Aspekte.

SIMULATIONSTECHNISCHE UNSICHERHEITEN

Niederschlag, geländespezifische Abflussbeiwerte und Höhenmodell sind die Grundlagen, auf denen die Simulation von Starkregenereignissen aufbaut. Daneben gibt es weitere Quellen von Unsicherheiten, die vom Modellierer berücksichtigt und eingeordnet werden müssen (z. B. in der Numerik).

Niederschlags- und Abflusscharakteristik

Ausgangslage jeder Berechnung ist ein Regenszenario mit einer bestimmten Jährlichkeit, das meist aus Messdatenreihen extrapoliert wurde. Die Wahl des Regenereignisses für die Gefährdungsanalyse ist entscheidend: Ein 100-jährliches Niederschlagsereignis mit einer Dauer von 24 Stunden kann gegebenenfalls im Siedlungsgebiet ohne Schäden abgeführt werden, im Fliessgewässer jedoch grosse Hochwasser zur Folge haben. Umgekehrt kann ein «nur» 10-jährliches Ereignis mit einer Dauer von 30 Minuten und dementsprechend höherer Spitzenintensität zu grossen Schadenssummen im Siedlungsgebiet führen, weil die kurzzeitig grossen Wassermengen vom Kanalnetz nicht mehr aufgenommen werden können.

Die Jährlichkeiten extremer und daher seltener Ereignisse sind statistisch unsicher. Auch die Berücksichtigung bestimmter relevanter Eigenschaften der Niederschlagsereignisse verlangt nach neuen Ansätzen in der Berechnung dieser Jährlichkeiten [6].

Höhenmodell und Böden

Ähnlich elementar wie das verwendete Niederschlagsereignis ist das verwendete Höhenmodell: Je nach Auflösung sind die erfassten Kleinstrukturen wie Randsteine, Trottoirs und Gartenmauern nur teilweise oder gar nicht vorhanden. Das oft verwendete digitale Terrainmodell (DTM) bildet die natürliche Bodenoberfläche ab, das heisst, Gebäude und Vegetation wurden aus dem Modell entfernt.

Die Verknüpfung des Oberflächenwassers mit dem Kanalnetz geschieht über Einlaufschächte, deren Knoten gegebenenfalls manuell angepasst werden müssen. Umständlicher ist die Berücksichtigung von komplizierteren Strukturen wie Rinnen, Entwässerungsschlitze auf Plätzen oder Dachentwässerungen. Eine detaillierte Berechnung im Simulationsmodell ist wegen Einschränkungen der Rechenzeit und Komplexität kaum möglich. Daher müssen für solche Fälle Annahmen getroffen oder Vereinfachungen gemacht werden.

SZENARIENBILDUNG ALS GRUNDLAGE

Durch die unterschiedliche Charakteristik von Niederschlägen und die Kombination der Abflussprozesse kann die Ereignis-Auftretenswahrscheinlichkeit (Jährlichkeit) häufig nicht mehr eindeutig quantifiziert werden. Es ist auch nicht möglich oder sinnvoll, sämtliche denkbaren Ereigniskombinationen in den Berechnungen abzubilden. Daher ist es wichtig, den Problemraum bereits im Vorfeld zu definieren: Welche Prozesse und Ereignisse sind relevant? Welche Kombinationen decken Unsicherheitsbereiche ab und versprechen einen Mehrwert in der Risikoabwägung?

Diese Überlegungen führen zu Szenarien als Ausgangslage für die Simulationen. Nur diese Ergebnisse werden benutzt, um die Wirksamkeit und Robustheit von Massnahmen zu evaluieren.

Grosse Fliessgewässer und Seen im Modellperimeter

Bei grossen Fliessgewässern oder Seen sind lokale, kurze Starkniederschläge nicht entscheidend. Verantwortlich für Hochwasser und Überschwemmungen sind langanhaltende Dauerregen im Einzugsgebiet. Rückstaueffekte in das Kanalnetz und damit verbundene Kapazitätsüberlastungen sind allerdings trotzdem möglich.

In der gekoppelten Berechnung kann der Wasserstand des Sees oder eine Hochwasserganglinie im Fliessgewässer als Randbedingung gesetzt werden, während für die Oberfläche und das Kanalnetz ein lokaler Starkniederschlag simuliert wird.

Städtische Gebiete ohne Fliessgewässer

In Siedlungsgebieten ist ein Grossteil der Flächen versiegelt und sofort abflusswirksam. Die Einlaufschächte und das Kanalsystem gewinnen dadurch an Bedeutung. Bei Abwesenheit eines Fliessgewässers sind kürzere Ereignisse mit hohen Intensitäten massgebend. Kleinskalige Strukturen (Randsteine, Gärten, Unterführungen, ...), die in den Höhenmodellen nur unzuverlässig erfasst werden, müssen, wenn relevant, manuell ins Modell eingefügt werden. Dachentwässerungen sind eine zusätzliche Schwierigkeit, deren Erfassung in den meisten Fällen nicht ohne unverhältnismässigen Aufwand möglich ist. Eine geeignete Annäherung ist z. B., die Dachflächen nicht aktiv zu berechnen (kein Regen auf das Berechnungsnetz), sondern die anfallenden Abflüsse der Dachentwässerung als Näherung direkt am ersten Knoten des Kanalnetzes als Input anzusetzen.

Eingedolte, kleine Fliessgewässer

Kleine, eingedolte Bäche werden hauptsächlich durch Drainagen und/oder Anschlüsse der Siedlungsentwässerung gespeist. Die herkömmlichen Berechnungsgrundlagen der Hydrologie sind nur eingeschränkt anwendbar. In solchen Fällen lohnt sich eine intensivere Beurteilung der offenen Bachabschnitte,

wo Oberflächenwasser in das Bachprofil gelangen kann. Für die Simulation bedeutet diese Situation, dass eine vollständige Kopplung von Oberfläche, Kanalnetz und Fliessgewässer notwendig sein kann.

Übergang vom Landwirtschaftsgebiet ins Siedlungsgebiet

Ein vor allem in ländlichen Siedlungsgebieten häufiges Ereignis ist Oberflächenabfluss, der sich oberhalb der Siedlung sammelt und in das Siedlungsgebiet hineinfliesst. Bei solchen Gebietsübergängen sind auch schwächere Niederschläge für eine Risikoabwägung wichtig.

FAZIT

Die Gesamtheit der Gefährdung durch Starkniederschläge ergibt sich aus der Kombination verschiedener Prozesse und Fachbereiche – Siedlungsentwässerung, Gewässer, Oberflächenabfluss. Für die Beurteilung des Gefahrenpotenzials von Starkregenereignissen gibt es kein Universalrezept. Die Szenarienbildung ist ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit und kann dazu führen, dass nicht alle Prozesse zur Lösungsfindung beitragen.

Bei einer gekoppelten Betrachtung ist die «einfache» Definition einer Jährlichkeit oder einer Auftretenswahrscheinlichkeit beziehungsweise eines quantitativen Schutzziels nicht mehr möglich. Nach erfolgter Gefahrenbeurteilung und Dimensionierung möglicher Massnahmen verbleibt immer eine Restgefährdung. Die Abschätzung dieser Überlastfälle bzw. eines Systemversagens wird durch die gekoppelte Simulation umfassender möglich, als dies bisher der Fall war. Die Beurteilung des Restrisikos gewinnt damit, auch insbesondere unter Berücksichtigung zukünftiger klimatischer Änderungen und Zunahme von Extremereignissen, an Bedeutung.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bernet, D. B.; Prasuhn, V.; Weingartner, R. (2017): Surface Water Floods in Switzerland: What Insurance Claim Records Tell Us about the Damage in Space and Time. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17.9: 1659–1682. Web
- [2] Giorgi, F. et al. (2016): Enhanced summer convective rainfall at Alpine high elevations in response to climate warming. *Nature Geoscience* 9, 584–589
- [3] NCCS (2018): CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2
- [4] Kipfer, A. et al. (2018): Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz – Technischer Bericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Bern
- [5] Schilling, M.; Niedermayr, A.; Duss, A. (2012): Gefahrenkartierung Naturgefahren Mittleres Glattal. Hunziker, Zarn & Partner, Aarau
- [6] Hunziker Betatech AG (2017): Regendatenkatalog Generelle Entwässerungsplanung, Amt für Umwelt Kanton Thurgau, Frauenfeld
- [7] Bernet, D. B. et al. (2018): Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr. Eine Entscheidungshilfe. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 42. Bern

WASSER ▼ BODEN ▼ LUFT
Analytische Untersuchungen und Beratung

envilab

ANALYTIK AUS LEIDENSCHAFT

ENVILAB AG
Mühlethalstrasse 25, 4800 Zofingen
T 062 745 70 50, www.envilab.ch